

DERWENT-ACC-NO: 1998-077292

DERWENT-WEEK: 199826

COPYRIGHT 1999 DERWENT INFORMATION LTD

TITLE: Detection and non-destructive analysis of
substances containing light element nuclei - includes
registration of neutrons elastically dispersed once on
substances in analysis object and registration of moments of
time and coordinates of points of secondary interaction
with second position sensitive detector

INVENTOR: MOSTOVOI, V I; RUMYANTSEV, A N ; SUKHORUCHKIN, V K ;
YAKOVLEV, G V

PATENT-ASSIGNEE: RUMYANTSEV A N[RUMYI]

PRIORITY-DATA: 1996RU-0112738 (June 24, 1996)

PATENT-FAMILY:

PUB-NO	PUB-DATE	LANGUAGE
PAGES MAIN-IPC		
WO 9749986 A1	December 31, 1997	R 033
G01N 023/00		
RU 2095796 C1	November 10, 1997	N/A 014
G01N 023/222		

DESIGNATED-STATES: JP US AT BE CH DE DK ES FI FR GB GR IE IT LU MC NL
PT SE

APPLICATION-DATA:

PUB-NO	APPL-DESCRIPTOR	APPL-NO
APPL-DATE		
WO 9749986A1	N/A	1996WO-RU00315
November 5, 1996		
RU 2095796C1	N/A	1996RU-0112738
June 24, 1996		

INT-CL (IPC): G01N023/00, G01N023/204 , G01N023/222

ABSTRACTED-PUB-NO: WO 9749986A

BASIC-ABSTRACT:

An accelerated beam of charged particles, i.e. deuterons, is formed by a
forming
accelerating device (1) and is directed onto a target (2) containing

tritium
and forming primary fast neutrons and charged alpha particles. The
alpha
particles are registered by a position sensitive detector (3) in a
neutron
generating device (4) with a shielding housing (5), equipped with a
collimator
for output of primary fast neutrons in the direction of an analysis
object (6).

The primary neutrons are elastically dispersed on the substances (7) of
the
object and are registered by a position sensitive detector (8), while
the
secondary elastically dispersed neutrons interact with a position
sensitive
sensor (9), carrying out a third count. The elemental composition and
3-dimensional distribution of substances in the object are calculated
using the
mass of penetrating nuclei, determined according to their energy and
scatter
angle of neutrons with known moments of dispersion, the energy and
vector of
initial movement of neutrons subjected to single elastic dispersion in
the
substances and the coordinates of the points at which dispersal occurs.

USE - Non-destructive analysis of substances in objects in medicine and
industry, particularly of substances containing light chemical elements
with
atomic mass number not exceeding 30 in objects not permitting
disruption of
their integrity.

ADVANTAGE - Better accuracy of determined isotopic and elemental
composition,
mass and 3-dimensional distribution of substances in objects.

CHOSEN-DRAWING: Dwg.1/3

TITLE-TERMS: DETECT NON DESTROY ANALYSE SUBSTANCE CONTAIN LIGHT ELEMENT
NUCLEUS

REGISTER REGISTER NEUTRON ELASTIC DISPERSE SUBSTANCE ANALYSE OBJECT

POSITION MOMENT TIME COORDINATE POINT SECONDARY INTERACT SECOND

SENSITIVE DETECT

DERWENT-CLASS: S03

EPI-CODES: S03-E06C; S03-E14H4;

SECONDARY-ACC-NO:

Non-CPI Secondary Accession Numbers: N1998-061728

РСТ

ВСЕМИРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
Международное бюро



МЕЖДУНАРОДНАЯ ЗАЯВКА, ОПУБЛИКОВАННАЯ В СООТВЕТСТВИИ
С ДОГОВОРом О ПАТЕНТНОЙ КООПЕРАЦИИ (РСТ)

<p>(51) Международная классификация изобретения⁶: G01N 23/00, 23/204</p>	<p>A1</p>	<p>(11) Номер международной публикации: WO 97/49986 (43) Дата международной публикации: 31 декабря 1997 (31.12.97)</p>
<p>(21) Номер международной заявки: PCT/RU96/00315 (22) Дата международной подачи: 5 ноября 1996 (05.11.96) (30) Данные о приоритете: 96112738 24 июня 1996 (24.06.96) RU (71)(72) Заявитель и изобретатель: РУМЯНЦЕВ Александр Николаевич [RU/RU]; 123423 Москва, ул. Народного Ополчения, д. 22, корп. 2, кв. 209 (RU) [RUMYANTSEV, Alexandr Nikolaevich, Moscow (RU)]. (72) Изобретатели; и (75) Изобретатели / Заявители (только для US): МОСТОВОЙ Владимир Иосифович [RU/RU]; 123098 Москва, ул. Маршала Бирюзова, д. 1, кв. 13 (RU) [MOSTOVOI, Vladimir Iosifovich, Moscow (RU)]. СУХОПУЧКИН Владимир Константинович [RU/RU]; 121099 Москва, Смоленская наб., д. 2, кв. 15 (RU) [SUKHOPUCHKIN, Vladimir Konstantinovich, Moscow (RU)]. ЯКОВЛЕВ Генрих Васильевич [RU/RU]; 123060 Москва, ул. Маршала Бирюзова, д. 38, кв. 51 (RU) [YAKOVLEV, Genrikh Vasilievich, Moscow (RU)].</p>		<p>(74) Агент: СОБОЛЕВА Елена Александровна; 123098 Москва, ул. Васильевского, д. 5, корп. 1, кв. 2 (RU) [SOBOLEVA, Elena Alexandrovna, Moscow (RU)]. (81) Указанные государства: JP, US, европейский патент (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE). Опубликована С отчетом о международном поиске.</p>
<p>(54) Title: METHOD FOR THE DETECTION AND NON-DESTRUCTIVE ASSAY OF SUBSTANCES CONTAINING NUCLEI OF LIGHT ELEMENTS (54) Название изобретения: СПОСОБ ОБНАРУЖЕНИЯ И НЕРАЗРУШАЮЩЕГО АНАЛИЗА ВЕЩЕСТВ, СОДЕРЖАЩИХ ЯДРА ЛЕГКИХ ЭЛЕМЕНТОВ</p> <div data-bbox="701 1730 1428 2116" data-label="Image"> </div> <p>(57) Abstract</p> <p>The present invention relates to a method for the detection and non-destructive assay of substances containing nuclei of light elements with an atomic mass not exceeding 30, including organic substances. This method may be used to avoid any accidental or intentional screening or covering of the substance studied in the object undergoing analysis, whether it be due to the baggage or to other objects that prevent the integrity of substances from being penetrated or broken for studying their content. The object to be analysed is irradiated using a flow of rapid mono-energetic neutrons generated by the reaction in the target material. The elementary composition and the three-dimensional distribution of the substances in the object to be analysed are estimated from the mass values of the nucleus of elements penetrating therein. These masses are in turn determined according to the energy and dispersion angle values of the neutrons and using the known moments of dispersion as well as the energy value and the initial movement vectors, said neutrons being submitted to a single elastic dispersion in the substances of the object analysed. The method also uses from the co-ordinates of the points where such dispersion occurs.</p>		

(57) Реферат

Для обнаружения и неразрушающего анализа веществ, содержащих ядра легких элементов с атомными массами до 30, в том числе органических веществ, с практическим исключением возможности случайного или умышленного экранирования или сокрытия исследуемого вещества в анализируемом объекте, которым может быть как багаж, так и другие объекты, не допускающие вскрытия или нарушения целостности с целью исследования их содержимого, анализируемый объект облучают потоком быстрых моноэнергетических нейтронов, генерируемых в результате реакции в материале мишени. Об элементном составе и пространственном распределении веществ в анализируемом объекте судят по величинам масс ядер входящих в них элементов, определяемых по величинам энергий и углов рассеяния нейтронов с известными моментами времени возникновения, величиной энергии и векторами исходного движения, величиной энергии и векторами исходного движения, претерпевших однократное упругое рассеяние в веществах анализируемого объекта, и координатам точек, в которых произошло это рассеяние.

ИСКЛЮЧИТЕЛЬНО ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ИНФОРМАЦИИ

Коды, используемые для обозначения стран-членов РСТ на титульных листах брошюр, в которых публикуются международные заявки в соответствии с РСТ.

AT	Австрия	FI	Финляндия	MR	Мавритания
AU	Австралия	FR	Франция	MW	Малави
BB	Барбадос	GA	Габон	NE	Нигер
BE	Бельгия	GB	Великобритания	NL	Нидерланды
BF	Буркина Фасо	GN	Гвинея	NO	Норвегия
BG	Болгария	GR	Греция	NZ	Новая Зеландия
BJ	Бенин	HU	Венгрия	PL	Польша
BR	Бразилия	IE	Ирландия	PT	Португалия
CA	Канада	IT	Италия	RO	Румыния
CF	Центральноафриканская Республика	JP	Япония	RU	Российская Федерация
BY	Беларусь	KR	Корейская Народно-Демократическая Республика	SD	Судан
CG	Конго	KR	Корейская Республика	SE	Швеция
CH	Швейцария	KZ	Казахстан	SI	Словения
CI	Кот д'Ивуар	LI	Лихтенштейн	SK	Словакия
CM	Камерун	LK	Шри-Ланка	SN	Сенегал
CN	Китай	LU	Люксембург	TD	Чад
CS	Чехословакия	LV	Латвия	TG	Того
CZ	Чешская Республика	MC	Монако	UA	Украина
DE	Германия	MG	Мадагаскар	US	Соединенные Штаты Америки
DK	Дания	ML	Мали	UZ	Узбекистан
ES	Испания	MN	Монголия	VN	Вьетнам

СПОСОБ ОБНАРУЖЕНИЯ И НЕРАЗРУШАЮЩЕГО АНАЛИЗА ВЕЩЕСТВ, СОДЕРЖАЩИХ ЯДРА ЛЕГКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Область техники

5

Изобретение относится к области способов обнаружения и неразрушающего анализа веществ, содержащих ядра легких элементов, путем определения изотопного и элементного состава и пространственного расположения таких веществ.

10

Предшествующий уровень техники

Известно, что большинство веществ, представляющих интерес для неразрушающего анализа и контроля, в том числе органических веществ, характеризуется наличием в их составе водорода, азота, углерода, кислорода и ряда других легких химических элементов с атомными массами до 30. Химический состав таких веществ характеризуется определенными соотношениями между количеством ядер легких химических элементов. Присутствие некоторых из них, в частности, азота, используется для обнаружения взрывчатых веществ, например, в багаже пассажиров с целью обеспечения безопасности перевозок. Различия в ядерных свойствах легких химических элементов позволяют использовать различные ядерно-физические методы неразрушающего анализа для обнаружения, например, органических веществ и определения их пространственного расположения в содержимом различных объектов, например, упаковок, без их вскрытия. Одним из известных ядерно-физических методов, позволяющим использовать различия в ядерно-физических свойствах легких элементов для обнаружения и анализа веществ, в том числе взрывчатых веществ и наркотиков, является метод, основанный на регистрации вторичных эффектов, вызванных облучением анализируемого объекта нейтронами.

35

Известен способ для обнаружения взрывчатых веществ [Патент Великобритании. Номер патента: 2 242 520. Дата публикации: 02 октября 1991. Дата подачи заявки: 14 февраля 1991. Авторы

- изобретения - П. Х. Фоулер и другие. Наименование изобретения: "Детектор взрывчатки". МКИ G01N 23/223, 23/06, 23/04, 23/201 (UK Patent Application. Patent Number: 2 242 520. Date of Publication: 02 October, 1991. Date of Filing: 14 February, 1991. Inventors: Peter H. Fowler and others. Title: "Explosive Detector"))], в
- 5 основе которого лежит известный физический эффект радиационного захвата медленных (тепловых) нейтронов ядрами определенного химического элемента с последующим испусканием гамма-квантов, регистрируемых детекторами гамма-
- 10 квантов. Первичный пучок нейтронов, направляемых на исследуемый объект, генерируется путем облучения мишени из лития пучком ускоренных протонов. Использование литиевой мишени позволяет получить пучок нейтронов, энергетический спектр которых содержит значительную долю нейтронов малых
- 15 энергий. Дальнейшее замедление нейтронов до тепловых энергий осуществляется в материале анализируемого объекта и в стенках измерительной камеры, в которую помещается исследуемый объект и которая выполнена из материалов, хорошо замедляющих нейтроны. При радиационном захвате тепловых нейтронов
- 20 ядрами анализируемого вещества происходит последующее испускание гамма-квантов, обладающих определенным спектром энергий, зависящим от типа ядра, захватившего нейтрон. Спектры энергии гамма-квантов, возникающих вследствие радиационного захвата тепловых нейтронов ядрами водорода,
- 25 углерода и азота, входящих в состав известных взрывчатых веществ, различны. Различия в диапазонах энергий позволяет различать гамма-кванты, генерируемые каждым из этих элементов. Регистрация испущенных гамма-квантов с последующим анализом их пространственно-энергетического
- 30 распределения позволяет определить массы и пространственное распределение азота, углерода и водорода в исследуемом объекте. На основе такого анализа делается вывод о наличии в исследуемом объекте взрывчатых веществ.
- 35 В этом способе эффективность определения массы анализируемого элемента существенно зависит от величины сечения радиационного захвата нейтронов. Для водорода, азота и углерода сечения радиационного захвата для тепловых нейтронов

со средней энергией 0.0253 эВ равны, соответственно, 0.3300, 0.1000 и 0.0045 барн. Молекулы большинства известных взрывчатых веществ как и наркотиков, содержат большое количество атомов водорода и углерода и относительно меньшее количество атомов азота, кислорода и, возможно, других легких элементов. Доли атомов водорода и углерода в молекулах таких веществ весьма близки. Однако сечение радиационного захвата водорода больше сечения радиационного захвата углерода примерно в 70 раз. Поэтому эффективность определения массы углерода и соотношения масс углерода и водорода относительно невелика, а увеличение потока нейтронов для повышения эффективности определения углерода приводит к увеличению остаточной активности анализируемого объекта за счет радиационного захвата нейтронов в других элементах, которые могут находиться в анализируемом объекте, в том числе, элементов, обладающих относительно большим периодом радиационного распада, таких как натрий, калий и многие другие. Один из принципиальных компонентов известных взрывчатых веществ и наркотиков - кислород, практически не обнаруживается этим методом. Случайное или умышленное экранирование исследуемого вещества материалами, хорошо поглощающими тепловые нейтроны, например, бором или кадмием, путем помещения исследуемого вещества в упаковку, содержащую такие элементы, значительно снижает эффективность применения этого способа обнаружения взрывчатых веществ и наркотиков.

Известен способ [Публикация "APSTNG: изучение герметичной нейтронной генерирующей трубки с ассоциированными частицами для контроля оружия". Авторы: Е. Родес и другие. Отчет NN-20 по Проекту ST220 № ANL/ACTV-95/1. Дата публикации: декабрь 1994. Инженерный Реакторный Отдел. Аргонская Национальная лаборатория. США ("APSTNG: Associated Particle Sealed-Tube Neutron Generator Studies for Arms Control" by E.Rhodes, C.E.Dickerman, T.Brunner, A.Hess and S.Tylinski. Final Report on NN-20 Project ST220. ANL/ACTV-95/1. December 1994. Reactor Engineering Division. Argonne National Laboratory. USA)] определения изотопного состава и пространственного распределения веществ, в том числе,

- взрывчатых веществ и наркотиков, находящихся внутри анализируемого объекта, которым может быть как багаж, так и другие объекты, анализируемые без вскрытия или разрушения упаковки, включающий облучение анализируемого объекта
- 5 потоком быстрых моноэнергетических нейтронов, генерируемых в результате реакции в материале мишени, сопровождаемой образованием заряженных частиц отдачи, с определением момента времени возникновения, величины энергии и вектора
- 10 исходного движения нейтронов по моменту времени регистрации и координатам точки взаимодействия заряженных частиц отдачи с позиционно-чувствительными детекторами заряженных частиц отдачи. Кроме того, в известном способе позиционно-чувствительным гамма-детектором регистрируют спектр гамма-
- 15 излучения, порождаемого вследствие реакции взаимодействия быстрых нейтронов с веществами анализируемого объекта. Согласно этому способу, поток быстрых моноэнергетических нейтронов создается генератором быстрых нейтронов в
- 20 результате реакции ускоренных дейтонов на тритиевой мишени. Генерация каждого нейтрона сопровождается рождением "связанной" с ним альфа-частицы отдачи, испускаемой в направлении, противоположном направлению движения нейтрона. Позиционно-чувствительный альфа-детектор позволяет
- 25 определить момент времени возникновения, величину энергии и вектор исходного движения каждого генерируемого нейтрона. Регистрация гамма-квантов позиционно-чувствительным детектором в моменты времени, коррелирующие с моментами
- 30 времени регистрации альфа-частиц с учетом скорости движения быстрых нейтронов и гамма-квантов, используется для фиксации того, что зарегистрированные гамма-кванты порождены реакцией, вызванной нейтронами, движущимися вдоль вектора
- 35 исходного движения. Регистрируемый спектр энергий гамма-квантов используется для того, чтобы идентифицировать делящиеся материалы по гамма-квантам деления и определить многие другие изотопы, имеющие массовое число, превышающее массовое число бора, по спектру гамма-квантов от реакции неупругого рассеяния быстрых нейтронов. Различие во времени детектирования гамма-квантов и альфа-частицы используется для определения расстояния вдоль вектора исходного движения

- нейтронов от мишени, на которой происходит генерация нейтронов, до области, в которой происходит взаимодействие быстрого нейтрона с материалом анализируемого объекта, приводящее к появлению гамма-излучения. Анализ спектра
- 5 гамма-квантов позволяет определить изотоп, на котором произошла реакция взаимодействия с быстрым нейтроном. Применение позиционно-чувствительного детектора гамма-квантов позволяет определить область в материале анализируемого объекта, в которой произошла эта реакция.
- 10 Регистрация множества таких событий позволяет построить трехмерное пространственное распределение изотопов. Полученная информация позволяет определить вероятный химический состав и пространственное расположение веществ в материале анализируемого объекта и обнаружить присутствие
- 15 контролируемых веществ, которыми могут быть ядерные материалы, химические взрывчатые вещества и наркотики, содержащие изотопы с массовым числом, равным или превышающим массовое число изотопов бора.
- 20 Определение типа изотопа и пространственного расположения ядра изотопа, с которым взаимодействует быстрый нейтрон, осуществляется по спектру гамма-излучения, порождаемого вследствие взаимодействия быстрого нейтрона с веществами анализируемого объекта. Источниками дополнительного гамма-
- 25 излучения, помимо реакций деления и реакции неупругого рассеяния на быстрых нейтронах, являются реакция радиационного захвата и реакция повторного неупругого рассеяния ранее рассеянных быстрых нейтронов. Каждая из этих реакций сопровождается излучением гамма-квантов в широком
- 30 диапазоне энергий, что затрудняет решение задачи идентификации типа изотопа, генерировавшего гамма-излучение, и определения области пространства, в котором произошла эта реакция. Наличие водорода в составе материала анализируемого объекта по направлению вектора движения быстрых нейтронов
- 35 приводит к снижению интенсивности потока быстрых нейтронов за счет реакции упругого рассеяния на водороде и появлению замедленных нейтронов, для которых сечение реакции радиационного захвата ядрами изотопов материала

- анализируемого объекта существенно выше, чем для первичных быстрых нейтронов. Реакция радиационного захвата замедленных на водороде нейтронов является дополнительным источником гамма-излучения, затрудняющим анализ регистрируемых гамма-спектров и увеличивающим ошибку в определении типа изотопов и пространственного положения области, в которой произошла реакция нейтрона с ядром, входящим в состав материала анализируемого объекта. Случайное или умышленное экранирование исследуемого вещества материалами, хорошо замедляющими нейтроны, например, содержащими большое количество водорода, путем помещения исследуемого вещества в упаковку типа заполненного водой контейнера, или экранирование исследуемого вещества материалами, имеющими большое сечение радиационного захвата быстрых нейтронов, например, титаном или медью, значительно снижает эффективность применения этого способа для обнаружения контролируемых веществ. Кроме того, случайное или умышленное экранирование исследуемого вещества относительно тяжелыми материалами, содержащими элементы с большими атомными номерами, приводит к поглощению гамма-квантов, генерированных контролируемыми веществами, за счет фотоэлектрического эффекта и эффекта образования пар электрон-позитрон, и искажению их спектра за счет комптоновского рассеяния, что также значительно снижает эффективность применения этого способа для обнаружения контролируемых веществ.

Раскрытие изобретения

- В основу изобретения положена задача повышения точности определения изотопного и элементного состава, массы и пространственного распределения веществ, в том числе, органических веществ, содержащих, в основном, легкие химические элементы с атомными массами до 30, с практическим исключением возможности случайного или умышленного экранирования или сокрытия исследуемого вещества в анализируемом объекте, которым может быть как багаж, так и другие объекты, не допускающие вскрытия или нарушения

целостности с целью анализа их содержимого, что достигается за счет того, что в способе, включающем в себя облучение анализируемого объекта потоком быстрых моноэнергетических нейтронов, генерируемых в результате реакции в материале мишени, сопровождаемой образованием заряженных частиц отдачи, с определением моментов времени возникновения, величин энергии и векторов исходного движения нейтронов по моментам времени регистрации и координатам точек взаимодействия заряженных частиц отдачи с позиционно-чувствительными детекторами заряженных частиц отдачи, регистрируют нейтроны, однократно упруго рассеянные на веществах внутри анализируемого объекта, а об элементе состава и пространственном распределении веществ в анализируемом объекте судят по величинам масс ядер входящих в них элементов, определяемых по величинам энергий и углов рассеяния нейтронов с известными моментами времени возникновения, величиной энергии и векторами исходного движения, претерпевших однократное упругое рассеяние в веществах анализируемого объекта, и координатам точек, в которых произошло это рассеяние, путем регистрации моментов времени и координат точек двух последующих взаимодействий каждого из этих нейтронов с рабочим веществом двух и более позиционно-чувствительных детекторов нейтронов, причем первое из взаимодействий является реакцией упругого рассеяния нейтронов на известном рабочем веществе этих детекторов. Кроме того, регистрацию моментов времени и координат точек второго взаимодействия нейтронов с известным рабочим веществом позиционно-чувствительных детекторов нейтронов осуществляют по реакции упругого рассеяния нейтронов на рабочем веществе этих детекторов. Кроме того, регистрацию моментов времени и координат точек первой реакции упругого рассеяния нейтронов на рабочем веществе позиционно-чувствительных детекторов нейтронов осуществляют путем регистрации моментов времени и координат точек возникновения протонов отдачи в водородсодержащем рабочем веществе детекторов нейтронов. Кроме того, регистрацию моментов времени и координат точек обеих реакций упругого рассеяния нейтронов на рабочем веществе позиционно-чувствительных детекторов нейтронов осуществляют

путем регистрации моментов времени и координат точек возникновения протонов отдачи в водород-содержащем рабочем веществе детекторов нейтронов. Кроме того, определение моментов времени возникновения, величин энергии и векторов
5 исходного движения нейтронов, образуемых в результате реакции генерации нейтронов в материале мишени, осуществляют путем измерения моментов времени и координат взаимодействия заряженных частиц отдачи с позиционно-чувствительными детекторами заряженных частиц в двух последовательных точках
10 траектории движения заряженных частиц отдачи. В соответствии с изобретением, поток первичных быстрых моноэнергетических нейтронов, генерируемых источником, например, использующим дейтерий-тритиевую реакцию на материале мишени с энергией моноэнергетических нейтронов около 14 МэВ, направляют на
15 анализируемый объект. При однократном упругом рассеянии этих нейтронов на ядрах веществ, из которых состоит анализируемый объект, энергия первичного однократно рассеянного нейтрона E_1 является функцией начальной энергии нейтрона E_0 , массы рассеивающего ядра M в атомных единицах массы и угла
20 рассеяния θ , и определяется известным соотношением (1):

$$E_1 = E_0 * ((M^2 - 1 + \cos^2 \theta)^{0.5} + \cos \theta)^2 / (M + 1)^2 \quad (1)$$

Зная начальную энергию первичного моноэнергетического
25 нейтрона E_0 , определив энергию E_1 этого нейтрона после однократного события упругого потенциального рассеяния и угол рассеяния θ , можно вычислить массу M ядра, на котором произошло рассеяние. Определив координату точки генерации первичного нейтрона и направление его движения, и координату
30 точки регистрации однократно упруго рассеянного быстрого нейтрона, можно определить координату точки, в которой произошло это упругое рассеяние. Таким образом определяется как масса M ядра элемента, на котором произошло упругое
35 рассеяние, так и координата точки рассеяния в анализируемом объекте. Определение координаты и момента времени генерации первичного моноэнергетического нейтрона осуществляется какими-либо известными способами. Например, при использовании для генерации быстрых моноэнергетических

нейтронов с энергией около 14 МэВ дейтерий-тритиевой реакции на материале мишени, момент генерации нейтрона и исходное направление его движения определяется по заряженным частицам отдачи (моноэнергетическим альфа-частицам), образуемым в результате дейтерий-тритиевой реакции на мишени и обладающих энергией около 3.6 МэВ. Направление движения порождаемых в этой реакции заряженных частиц отдачи обратно направлению движения порожденных быстрых нейтронов с точностью до относительно малой поправки на импульс пучка дейтонов, воздействующего на мишень. При использовании для генерации быстрых нейтронов дейтерий-тритиевой реакции начальная энергия нейтрона E_0 , энергия дейтонов E_d и угол μ между вектором пучка дейтонов и вектором исходного движения быстрого нейтрона связаны известным соотношением (2):

$$Q = (5/4) * E_0 - (1/2) * E_d - (1/2) * (2 * E_d * E_n)^{0.5} * \cos \mu \quad (2)$$

где Q - энергия реакции, равная 17.6 МэВ. При этом начальная энергия заряженной частицы отдачи в виде альфа-частицы E_α и начальная энергия нейтрона E_0 связаны соотношением (3):

$$E_\alpha + E_0 = Q \quad (3)$$

Начальные скорости альфа-частицы V_α и нейтрона V_0 определяются известными соотношениями (4):

$$V_\alpha = 0.976 * 10^6 * (E_\alpha)^{0.5}, V_0 = 1.38 * 10^6 * (E_0)^{0.5} \quad (4)$$

где энергии E_α и E_0 измеряется в (МэВ) и скорости V_α и V_0 - в (см/сек). Знание координат вектора пучка дейтонов, определяемых конструкцией генератора быстрых нейтронов, и регистрация координаты взаимодействия альфа-частицы с помощью позиционно чувствительного детектора, располагаемого на известном расстоянии от мишени, наряду с регистрацией момента взаимодействия альфа-частицы с детектором, позволяют определить момент времени генерации нейтрона на мишени, координату точки генерации нейтрона, начальную энергию нейтрона и направление вектора его

движения в сторону анализируемого объекта. Регистрация быстрого первичного нейтрона, упруго рассеянного на ядре исследуемого вещества в анализируемом объекте, осуществляется в первом позиционно-чувствительном детекторе

5 быстрых нейтронов по реакции упругого рассеяния первичного рассеянного быстрого нейтрона на рабочем веществе этого детектора, атомная масса основного рассеивателя которого известна и которым может быть, например, водород. При этом регистрируются момент времени и координата точки упругого

10 рассеяния нейтрона. Первичный нейтрон, упруго рассеянный на исследуемом материале анализируемого объекта и затем второй раз упруго рассеянный на материале первого детектора, взаимодействует с рабочим веществом второго позиционно-чувствительного детектора. При этом фиксируются момент

15 времени и координата точки этого взаимодействия. По разности координат точек взаимодействия первичного упруго рассеянного нейтрона с известными рабочими веществами первого и второго позиционно-чувствительных детекторов определяется путь, пройденный нейтроном между детекторами. По разности

20 моментов времени регистрации взаимодействия нейтрона с известными рабочими веществами первого и второго позиционно-чувствительных детекторов и пройденному пути определяются скорость, направление вектора движения и энергия нейтрона, рассеянного на первом позиционно-чувствительном

25 детекторе. Зная массу ядра основного рассеивателя быстрых нейтронов в материале первого позиционно-чувствительного детектора нейтронов, энергию рассеянного в данном детекторе нейтрона, скорость и вектор направления движения этого нейтрона, момент его регистрации в указанном детекторе и

30 координаты точки его взаимодействия с рабочим веществом этого детектора, а также момент генерации, координаты точки генерации, начальную энергию и вектор направления движения первичного быстрого моноэнергетического нейтрона, можно с использованием соотношения (1) вычислить угол упругого

35 рассеяния первичного быстрого моноэнергетического нейтрона на ядре исследуемого вещества анализируемого объекта, массу данного ядра и координаты точки, в которой находится это ядро. Направляя на анализируемый объект поток моноэнергетических

- быстрых нейтронов в течение некоторого периода времени и измеряя указанные параметры первичных и упруго рассеянных быстрых нейтронов, можно накопить описанную статистическую информацию. Математическая обработка полученной информации с помощью средств вычислительной техники позволяет определить массы изотопов и элементный состав, вероятную химическую формулу, массу и пространственное расположения веществ, находящихся в анализируемом объекте.
- 5
- 10 Сравнение предложенного способа с известными из предшествующего уровня техники показывает, что предложенный способ позволяет осуществлять идентификацию изотопов легких элементов в условиях фонового гамма-излучения, не чувствителен к экранированию контролируемых
- 15 материалов анализируемого объекта веществами, имеющими большие сечения радиационного захвата быстрых нейтронов, либо водород-содержащими веществами, и позволяет, в отличие от известных способов, анализировать распределение масс легких ядер по объему анализируемого объекта с определением
- 20 химического состава, пространственного положения и массы контролируемых веществ.

Краткое описание чертежей

На чертежах:

25

фиг. 1 представлено схематическое изображение пространственных траекторий движения ускоренного пучка заряженных частиц, заряженной частицы отдачи, и быстрого нейтрона, иллюстрирующее основные положения предлагаемого

30 способа, где:

- 1 - ускорительное устройство генератора быстрых нейтронов;
2 - мишень генератора быстрых нейтронов;
3 - позиционно-чувствительный детектор заряженных частиц отдачи;
- 35 4. - устройство генерации нейтронов;
5 - защитная оболочка генератора быстрых нейтронов, снабженная коллиматором для выхода первичных быстрых нейтронов в направлении анализируемого объекта;

- 6 - анализируемый объект (багаж, упаковка);
- 7 - вещества анализируемого объекта,
- 8 - позиционно-чувствительный детектор быстрых нейтронов;
- 9 - позиционно-чувствительный детектор быстрых нейтронов;

5

Кроме того, на фиг. 1 приведены некоторые геометрические характеристики предлагаемого способа, где:

А - точка регистрации траектории заряженной частицы отдачи в позиционно-чувствительном детекторе заряженных частиц отдачи

10 3;

В - точка выхода пучка заряженных частиц из ускорительного устройства 1 генератора быстрых нейтронов, помещенного в защитную оболочку 5;

Д - точка упругого рассеяния быстрого нейтрона, испытавшего

15 однократное упругое рассеяние в материале анализируемого объекта, на рабочем веществе позиционно-чувствительного детектора быстрых нейтронов 8;

С - точка взаимодействия быстрого нейтрона, испытавшего однократное упругое рассеяние в рабочем веществе позиционно-

20 чувствительного детектора быстрых нейтронов 8, с рабочим веществом другого позиционно-чувствительного детектора быстрых нейтронов 9;

5 - точка генерации быстрого моноэнергетического нейтрона в мишени 2;

Т - точка упругого рассеяния быстрого моноэнергетического нейтрона в веществах анализируемого объекта;

SA - вектор траектории заряженной частицы отдачи;

BS - вектор траектории пучка заряженных частиц, генерированного ускорительным устройством 1 генератора

30 быстрых нейтронов, снабженного оболочкой 5;

ST - вектор траектории моноэнергетического быстрого нейтрона, генерированного в точке S мишени источника нейтронов;

TD - вектор траектории быстрого нейтрона, однократно упруго рассеянного в точке Т анализируемого объекта;

35 *DC* - вектор траектории быстрого нейтрона, однократно упруго рассеянного в точке D рабочего вещества позиционно-чувствительного детектора быстрых нейтронов 8;

- μ - угол между вектором пучка заряженных частиц *BS*, генерированного ускорительным устройством 1 генератора быстрых нейтронов, и вектором траектории *ST* генерированного быстрого моноэнергетического нейтрона;
- 5 θ - угол упругого рассеяния быстрого моноэнергетического нейтрона на ядре вещества анализируемого объекта;
- ν - угол упругого рассеяния быстрого нейтрона, однократно упруго рассеянного на материале анализируемого объекта, на рабочем веществе позиционно-чувствительного детектора
- 10 быстрых нейтронов 8.

- фиг. 2 представлено схематическое изображение пространственных траекторий движения ускоренного пучка заряженных частиц, заряженной частицы отдачи, и быстрого
- 15 нейтрона при применении двух последовательных позиционно-чувствительных детекторов заряженных частиц отдачи, где:
- 1 - ускорительное устройство генератора быстрых нейтронов;
- 2 - мишень генератора быстрых нейтронов;
- 3 - позиционно-чувствительный детектор заряженных частиц
- 20 отдачи;
4. - устройство генерации нейтронов;
- 5 - защитная оболочка генератора быстрых нейтронов, снабженная коллиматором для выхода первичных быстрых нейтронов в направлении анализируемого объекта;
- 25 10 - второй позиционно-чувствительный детектор заряженных частиц отдачи;

- Кроме того, на фиг. 2 приведены некоторые геометрические характеристики предлагаемого способа, где:
- 30 А - точка регистрации траектории заряженной частицы отдачи в позиционно-чувствительном детекторе заряженных частиц отдачи 3;
- В - точка выхода пучка заряженных частиц из ускорительного устройства 1 генератора быстрых нейтронов, помещенного в
- 35 защитную оболочку 5;
- Е - точка регистрации траектории заряженной частицы отдачи в позиционно-чувствительном детекторе заряженных частиц отдачи 10;

- S - точка генерации быстрого моноэнергетического нейтрона в мишени 2;
- T - точка упругого рассеяния быстрого моноэнергетического нейтрона в материале анализируемого объекта;
- 5 SA - вектор траектории заряженной частицы отдачи;
- BS - вектор траектории пучка заряженных частиц, генерированного ускорительным устройством 1 генератора быстрых нейтронов, снабженного оболочкой 5;
- ST - вектор траектории моноэнергетического быстрого нейтрона,
- 10 генерированного в точке S мишени источника нейтронов;
- μ - угол между вектором пучка заряженных частиц BS , генерированного ускорительным устройством 1 генератора быстрых нейтронов, и вектором траектории ST генерированного быстрого моноэнергетического нейтрона;
- 15
- фиг. 3 представлена принципиальная схема устройства, реализующего предлагаемый способ, где:
- 5 - защитная оболочка генератора быстрых нейтронов, снабженная коллиматором для выхода первичных быстрых
- 20 нейтронов в направлении анализируемого объекта;
- 6 - анализируемый объект (багаж, упаковка);
- 8 - позиционно-чувствительный детектор быстрых нейтронов;
- 9 - позиционно-чувствительный детектор быстрых нейтронов;
- 11 - транспортный конвейер для транспортировки анализируемых
- 25 объектов в измерительный объем устройства;
- 12 - конструктивный пространственный элемент устройства, объединяющий набор из нескольких позиционно-чувствительных детекторов быстрых нейтронов и образующий измерительный объем, внутрь которого помещается анализируемый объект;
- 30 13 - устройство сбора и обработки измерительной информации с позиционно-чувствительных детекторов заряженных части отдачи и быстрых нейтронов с устройством графического отображения обработанной информации.
- 35 Кроме того, на фиг. 3 приведены некоторые геометрические характеристики предлагаемого способа, где:
- T - точка упругого рассеяния быстрого моноэнергетического нейтрона в материале анализируемого объекта;

ST - вектор траектории моноэнергетического быстрого нейтрона, генерированного источником нейтронов;

TD - вектор траектории быстрого нейтрона, однократно упруго рассеянного в точке ***T*** анализируемого объекта;

- 5 ***DC*** - вектор траектории быстрого нейтрона, однократно упруго рассеянного в рабочем веществе позиционно-чувствительного детектора быстрых нейтронов 8;

10 На фиг. 1, 2 и 3 схематично изображены основные элементы конструкции устройства, реализующего предлагаемый способ, где:

- 1 - ускорительное устройство генератора быстрых нейтронов;
2 - мишень генератора быстрых нейтронов;
3 - позиционно-чувствительный детектор заряженных частиц
15 отдачи;
4. - устройство генерации нейтронов;
5 - защитная оболочка генератора быстрых нейтронов, снабженная коллиматором для выхода первичных быстрых нейтронов в направлении анализируемого объекта;
20 6 - анализируемый объект (багаж, упаковка);
7 - вещества анализируемого объекта;
8 - позиционно-чувствительный детектор быстрых нейтронов;
9 - позиционно-чувствительный детектор быстрых нейтронов;
10 - второй позиционно-чувствительный детектор заряженных
25 частиц отдачи;
11 - транспортный конвейер для транспортировки анализируемых объектов в измерительный объем устройства;
12 - конструктивный пространственный элемент устройства, объединяющий набор из нескольких позиционно-чувствительных
30 детекторов быстрых нейтронов и образующий измерительный объем, внутрь которого помещается анализируемый объект;
13 - устройство сбора и обработки измерительной информации с позиционно-чувствительных детекторов заряженных части отдачи и быстрых нейтронов с устройством графического отображения
35 обработанной информации.

Кроме того, на фиг. 1, 2 и 3 приведены некоторые геометрические характеристики предлагаемого способа и реализующей его конструкции, где:

- А - точка регистрации траектории заряженной частицы отдачи в
5 позиционно-чувствительном детекторе заряженных частиц отдачи 3;
- В - точка выхода пучка заряженных частиц из ускорительного устройства 1 генератора быстрых нейтронов, помещенного в защитную оболочку 5;
- 10 D - точка упругого рассеяния быстрого нейтрона, испытавшего однократное упругое рассеяние в материале анализируемого объекта, на рабочем веществе позиционно-чувствительного детектора быстрых нейтронов 12;
- С - точка взаимодействия быстрого нейтрона, испытавшего
15 однократное упругое рассеяние в рабочем веществе позиционно-чувствительного детектора быстрых нейтронов 8, с рабочим веществом другого позиционно-чувствительного детектора быстрых нейтронов 9;
- Е - точка регистрации траектории заряженной частицы отдачи в
20 позиционно-чувствительном детекторе заряженных частиц отдачи 10;
- S - точка генерации быстрого моноэнергетического нейтрона в мишени 2;
- Т - точка упругого рассеяния быстрого моноэнергетического
25 нейтрона в материале анализируемого объекта;
- SA - вектор траектории заряженной частицы отдачи;
- BS - вектор траектории пучка заряженных частиц, генерированного ускорительным устройством 1 генератора быстрых нейтронов, снабженного оболочкой 5;
- 30 ST - вектор траектории моноэнергетического быстрого нейтрона, генерированного в точке S мишени источника нейтронов;
- TD - вектор траектории быстрого нейтрона, однократно упруго рассеянного в точке Т анализируемого объекта;
- DC - вектор траектории быстрого нейтрона, однократно упруго
35 рассеянного в точке D рабочего вещества позиционно-чувствительного детектора быстрых нейтронов 8;
- μ - угол между вектором пучка заряженных частиц BS, генерированного ускорительным устройством 1 генератора

быстрых нейтронов, и вектором траектории ST генерированного быстрого моноэнергетического нейтрона;

θ - угол упругого рассеяния быстрого моноэнергетического нейтрона на ядре материала анализируемого объекта;

- 5 ν - угол упругого рассеяния быстрого нейтрона, однократно упруго рассеянного на материале анализируемого объекта, на рабочем веществе позиционно-чувствительного детектора быстрых нейтронов 8.

10 Лучший вариант осуществления изобретения

- Предложенный способ обнаружения и неразрушающего анализа веществ, содержащих ядра легких элементов, осуществляется следующим образом. Ускоренный пучок заряженных частиц, например, дейтонов, формируемый ускорительным устройством 1 и движущийся по траектории, указанной вектором BS , направляют на мишень 2, содержащую, например, тритий, в точке S которой происходит реакция образования первичного быстрого нейтрона и заряженной частицы отдачи, например, альфа-частицы.
- 15 Направление движения первичного быстрого нейтрона определено вектором ST . Заряженная частица отдачи, например, альфа-частица, движется в обратном направлении, определенным вектором SA . Угол μ между векторами BS и ST и энергии ускоренной заряженной частицы, например, дейтона E_d , и порожденного первичного быстрого нейтрона E_0 связаны соотношением (2). Заряженную частицу отдачи, например, альфа-частицу, с вектором направления движения SA , в точке A регистрируют позиционно-чувствительным детектором заряженных частиц 3. Позиционно-чувствительный детектор 3 регистрирует момент времени и координаты точки взаимодействия заряженной частицы отдачи с материалом позиционно-чувствительного детектора 3. Ускорительное устройство 1, мишень 2, позиционно-чувствительный детектор заряженных частиц 3 расположены в объеме устройства
- 20 генерации нейтронов 4, защищенном оболочкой 5, которая снабжена коллиматором для выхода первичных быстрых нейтронов в направлении анализируемого объекта 6. В точке T анализируемого объекта 6 первичный быстрый нейтрон упруго
- 25
- 30
- 35

рассеивается на веществе 7 материала анализируемого объекта и продолжает движение в направлении вектора TD . Угол θ упругого рассеяния первичного быстрого нейтрона является углом между векторами ST и TD . Взаимосвязь угла упругого рассеяния θ , начальной энергии первичного нейтрона E_0 , энергии нейтрона после однократного упругого рассеяния E_1 , и массы рассеивающего ядра M в атомных единицах массы определены соотношением (1). При движении упруго рассеянного нейтрона в направлении, определенном вектором TD , в точке D позиционно-чувствительного детектора быстрых нейтронов 8 происходит последующее, второе по счету, упругое рассеяние быстрого нейтрона на рабочем веществе детектора 8. Вторично упруго рассеянный быстрый нейтрон движется в направлении, определенном вектором DC . Угол ν второго упругого рассеяния является углом между векторами TD и DC . Взаимосвязь угла упругого рассеяния ν , энергии однократно рассеянного нейтрона E_1 , энергии нейтрона после второго упругого рассеяния E_2 , и массы рассеивающего ядра M известного рабочего вещества детектора 8 в атомных единицах массы также подчиняются соотношению (1). Позиционно-чувствительный детектор быстрых нейтронов 8 регистрирует момент времени и координаты точки взаимодействия быстрого нейтрона с известным рабочим веществом детектора 8. При движении вторично упруго рассеянного нейтрона в направлении, определенном вектором DC , в точке C другого позиционно-чувствительного детектора быстрых нейтронов 9 происходит последующее, третье по счету, взаимодействие дважды упруго рассеянного быстрого нейтрона на рабочем веществе детектора 9. Этим взаимодействием может быть как упругое рассеяние быстрого нейтрона на рабочем веществе позиционно-чувствительного детектора нейтронов 9, так и любое другое взаимодействие нейтронов с рабочим веществом детектора 9, используемое для регистрации момента времени и координат точки взаимодействия нейтрона. При осуществлении предложенного способа регистрируют момент времени и координаты точки A взаимодействия заряженной частицы отдачи с позиционно-чувствительным детектором 3, момент времени и координаты точки второго упругого рассеяния в точке D с известным рабочим веществом позиционно-

чувствительного детектора быстрых нейтронов 8, момент времени и координаты точки последующего взаимодействия дважды упруго рассеянного нейтрона в точке С с известным рабочим веществом позиционно-чувствительного детектора
5 быстрых нейтронов 9. При известных из конструкции устройства генерации нейтронов 4 координатах точки В выхода пучка ускоренных частиц из ускорительного устройства 1, координатах точки S падения пучка ускоренных частиц на материал мишени 2, с использованием соотношений (1), (2), (3), (4) и известных
10 соотношений трехмерной аналитической геометрии, а также зарегистрированных моментов времени и координат точек А, D и С событий взаимодействия с заряженной частицей отдачи и с быстрым нейтроном, и учетом того, что пара векторов BS и ST лежит в одной плоскости с углом μ между ними, а пара векторов
15 TD и DC лежит в другой плоскости с углом ν между ними, решением полученной системы уравнений определяют координаты точки Т и величину массы ядра М, на котором произошло первое упругое рассеяние быстрого нейтрона. При применении относительно крупной по размерам мишени 2 для
20 генерации быстрых нейтронов, повышение точности определения координат точки S, в которой происходит генерация первичного быстрого нейтрона, осуществляют за счет применения двух позиционно-чувствительных детекторов заряженных части отдачи, из которых первый по направлению вектора SA
25 позиционно-чувствительный детектор 3 регистрирует момент времени и координату точки А пролета заряженной частицы отдачи, а второй позиционно-чувствительный детектор 10 заряженных частиц отдачи, располагаемый по направлению вектора SA за детектором 3, регистрирует момент времени и
30 координату точки Е второго взаимодействия заряженной частицы отдачи с детектором 10. Регистрация множества взаимодействий быстрых нейтронов с материалами анализируемого объекта позволяет получить информацию о массах ядер и их пространственном расположении в анализируемом объекте. По
35 массе ядер определяют химические элементы, к которым они принадлежат. Численным интегрированием по некоторому объему анализируемого объекта получают количество ядер различных химических элементов в пределах этого объема.

Соотношения количеств ядер различных химических элементов используют для определения наиболее вероятной химической формулы вещества материала анализируемого объекта. По данным о плотности вероятного вещества и интегрируемому
5 объему анализируемого объекта определяют массу этого вещества и его пространственное расположение.

Использование изобретения в промышленности

10 Предложенный способ может быть использован в промышленности и медицине, в частности, для неразрушающего анализа веществ, имеющих в своем составе, в основном, легкие химические элементы с относительно малой атомной массой до 30 атомных единиц массы, например, содержащихся в объектах,
15 не допускающих нарушения их целостности при проведении измерений. Известно, что большинство органических веществ, в том числе, взрывчатых веществ и наркотиков, характеризуется наличием в их составе, в основном, водорода, азота, углерода, кислорода, т.е. легких химических элементов с атомными
20 массами входящих в них изотопов до 30 атомных единиц массы. Химический состав таких веществ характеризуется определенными соотношениями между количеством ядер легких химических элементов. Определив описанным способом химический состав исследуемого вещества, можно осуществить
25 его идентификацию сравнением с данными по химическому составу известных веществ, определив при этом массу исследуемого вещества и его пространственное расположение в анализируемом объекте без нарушения его целостности. Следовательно, предложенный способ является промышленно
30 применимым и социально приемлемым.

В соответствии с примером конкретного выполнения промышленно применимого способа на конкретном устройстве, при использовании для генерации быстрых моноэнергетических нейтронов, например, дейтерий-третиевой реакции, пучок
35 ускоренных дейтонов, формируемый ускорительным устройством 1 и движущийся в направлении вектора BS , взаимодействует с мишенью 2, генерируя в точке S быстрый нейтрон с энергией около 14 МэВ и альфа-частицу с энергией около 3.6 МэВ,

которые движутся в противоположных направлениях. Вектор SA траектории альфа-частицы направлен от точки S к точке A взаимодействия с позиционно-чувствительным детектором 3 заряженных частиц отдачи. Вектор ST траектории генерированного первичного быстрого нейтрона направлен от точки генерации нейтрона S к точке упругого рассеяния нейтрона T в материале 7 анализируемого объекта 6, который может находиться на транспортном конвейере 11. Снаружи конструкции 12 располагают устройства радиационной защиты, не показанные на фиг. 1, 2, 3. Генератор быстрых моноэнергетических нейтронов 4, помещенный в защитную оболочку 5, содержит позиционно-чувствительный детектор заряженных частиц отдачи 3, и, при использовании большой по геометрическим размерам мишени для генерации нейтронов 2, может содержать второй позиционно-чувствительный детектор 10 заряженных частиц отдачи. Вектор ST траектории генерированного быстрого моноэнергетического нейтрона расположен под углом μ к вектору потока ускоренных заряженных частиц BS генератора нейтронов 4, помещенного в защитную оболочку 5, и конструктивно объединяющего устройства генерации быстрых моноэнергетических нейтронов с позиционно-чувствительным детектором заряженных частиц отдачи 3. В результате однократного упругого рассеяния на ядре исследуемого материала 7 анализируемого объекта 6 в точке T происходит изменение направления траектории упруго рассеянного нейтрона с отклонением от начальной траектории на угол θ . Траектория движения нейтрона от точки T , в которой происходит упругое рассеяние нейтрона в исследуемом материале анализируемого объекта, к точке D последующего упругого рассеяния на рабочем веществе позиционно-чувствительного детектора быстрых нейтронов 8 описывается вектором TD . Траектория движения нейтрона от точки D упругого рассеяния в рабочем веществе позиционно-чувствительного детектора быстрых нейтронов 8 к точке C взаимодействия нейтрона с рабочим веществом позиционно-чувствительного детектора быстрых нейтронов 9 описывается вектором DC . В результате однократного упругого рассеяния в точке D траектория движения нейтрона отклоняется на угол ν - угол упругого рассеяния быстрого нейтрона на

рабочем веществе позиционно-чувствительного детектора быстрых нейтронов 8. Позиционно-чувствительные детекторы быстрых нейтронов 8 и 9 выполнены в виде модулей, объединяемых конструкцией 12 в единую конструкцию, образующую внутренний объем, в котором размещен анализируемый объект. Сбор и обработка информации о моментах времени регистрации и координатах точек взаимодействия заряженных частиц отдачи с позиционно-чувствительными детекторами 3 и 10, и моментах времени регистрации и координатах точек взаимодействия быстрых нейтронов с позиционно-чувствительными детекторами быстрых нейтронов 8 и 9 осуществляются системой обработки и отображения информации 13. Предлагаемый способ применяется для определения химического состава, массы и пространственного расположения исследуемых материалов, имеющих в своем составе, в основном, легкие химические элементы с малой, примерно до 30, атомной массой (атомная масса фосфора). Из соотношения (1) следует, что изменение энергии быстрого нейтрона вследствие упругого рассеяния на исследуемом материале анализируемого объекта достигает наибольшей величины при упругом рассеянии в заднюю полусферу с углами рассеяния θ более 90 угловых градусов. При рассеянии назад ($\theta = 180$ градусов) отношение энергии быстрого нейтрона после упругого рассеяния E_1 к энергии первичного быстрого нейтрона E_0 определяется предельным соотношением (5):

$$E_1 / E_0 = (M - 1)^2 / (M + 1)^2 \quad (5)$$

где M - масса ядра материала анализируемого объекта. Поскольку предложенный способ использует регистрацию моментов времени и координаты точки взаимодействия нейтронов с позиционно-чувствительными детекторами быстрых нейтронов, определение массы ядра в материале анализируемого объекта, на котором произошло упругое рассеяние, осуществляется путем вычисления скоростей быстрых нейтронов на отдельных участках их траектории. Способность предложенного метода определить массу ядра материала анализируемого объекта определяется

возможностями регистрирующей аппаратуры и алгоритмов обработки информации различить моменты времени регистрации двух событий по разности скоростей движения быстрых нейтронов, испытавших упругое рассеяние на ядрах двух близких по массе изотопов. Численные эксперименты, выполненные с помощью метода Монте-Карло, показали, что технически обоснованным пределом масс ядер, статистически различимых с применением предложенного способа при использовании современных электронных технологий регистрации событий взаимодействия заряженных частиц отдачи и быстрых нейтронов, и при условии практического отсутствия остаточной радиоактивности анализируемого объекта, являются массы ядер в диапазоне до 30 атомных единиц массы (фосфор). Применение предлагаемого способа для анализа элементов с большей массой также возможно, однако требует увеличения времени облучения быстрыми нейтронами, что увеличивает вероятность нежелательной остаточной радиоактивности анализируемого объекта. Известно, что большинство органических веществ, в том числе, взрывчатых веществ и наркотиков, характеризуется наличием в их составе в основном азота, углерода, кислорода, водорода, т.е. легких химических элементов с атомными массами до 20. Химический состав таких веществ характеризуется определенными соотношениями между количеством ядер легких химических элементов. Определив предлагаемым способом изотопный и соответствующий ему химический состав исследуемого вещества, можно осуществить идентификацию этого вещества сравнением с данными по химическому составу известных веществ, определив при этом массу исследуемого вещества и его пространственное расположение в анализируемом объекте без нарушения его целостности. Экспериментальные исследования эффективности предложенного способа выполнены с применением метода Монте-Карло на расчетно-теоретических моделях устройств, реализующих предложенный способ, и с использованием технически достижимых характеристик позиционно-чувствительных детекторов заряженных частиц отдачи (альфа-детекторов с погрешностью определения координат альфа-частицы порядка 0.5-1 мм) и позиционно-чувствительных детекторов быстрых нейтронов (с погрешностью

определения координат точек взаимодействия нейтронов порядка миллиметра), обладающих способностью фиксировать моменты времени взаимодействия с погрешностью на уровне долей наносекунды. При этом набор позиционно-чувствительных детекторов быстрых нейтронов представлял собой конструкцию с внутренней областью для размещения анализируемого объекта в виде аналога сферической или цилиндрической поверхности 12, показанной на фиг. 3, и охватывающей часть сферы (цилиндра) с эффективным внутренним диаметром около 1-2 метров, с технически достижимыми параметрами регистрирующей и обрабатывающей электронной аппаратуры. При использовании генераторов быстрых нейтронов на основе дейтерий-тритиевой реакции с интенсивностью генерации нейтронов на уровне 10^8 - 10^9 нейтронов в секунду, время, необходимое для набора статистики измерений в целях обнаружения в анализируемом объекте типа багажа с линейными размерами 30 x 60 x 100 см присутствия значимого количества (около 100 граммов) взрывчатых веществ типа тринитротолуола оценивается на уровне до 10 секунд с вероятностью обнаружения около 99%. При этом экранирование исследуемого материала какими-либо другими материалами, применяемыми для контейнеров, типа стали, титана, меди или алюминия, в том числе, заполненных водой, не вызывали сколь-нибудь значимое снижение эффективности предложенного способа и реализующего его устройства.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ обнаружения и неразрушающего анализа веществ, содержащих ядра легких элементов, в том числе органических веществ, включающий облучение анализируемого объекта потоком быстрых моноэнергетических нейтронов, генерируемых в результате реакции в материале мишени, сопровождаемой образованием заряженных частиц отдачи, с определением моментов времени возникновения, величин энергии и векторов исходного движения нейтронов по моментам времени регистрации и координатам точек взаимодействия заряженных частиц отдачи с позиционно-чувствительными детекторами заряженных частиц отдачи, отличающийся тем, что регистрируют нейтроны, однократно упруго рассеянные на веществах внутри анализируемого объекта, а об элементном составе и пространственном распределении веществ в анализируемом объекте судят по величинам масс ядер входящих в них элементов, определяемых по величинам энергий и углов рассеяния нейтронов с известными моментами времени возникновения, величиной энергии и векторами исходного движения, претерпевших однократное упругое рассеяние в веществах анализируемого объекта, и координатам точек, в которых произошло это рассеяние, путем регистрации моментов времени и координат точек двух последующих взаимодействий каждого из этих нейтронов с рабочим веществом двух и более позиционно-чувствительных детекторов нейтронов, причем первое из взаимодействий является реакцией упругого рассеяния нейтронов на известном рабочем веществе этих детекторов.
2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что регистрацию моментов времени и координат точек второго взаимодействия нейтронов с известным рабочим веществом позиционно-чувствительных детекторов нейтронов осуществляют только по реакции упругого рассеяния нейтронов на рабочем веществе этих детекторов.
3. Способ по п. 1, отличающийся тем, что регистрацию моментов времени и координат точек первой реакции упругого рассеяния нейтронов на рабочем веществе позиционно-чувствительных детекторов нейтронов осуществляют путем регистрации моментов времени и координат точек возникновения протонов

отдачи в водород-содержащем рабочем веществе детекторов нейтронов.

4. Способ по п. 1 или 2, отличающийся тем, что регистрацию моментов времени и координат точек реакций упругого рассеяния нейтронов на рабочем веществе позиционно-чувствительных детекторов нейтронов осуществляют путем регистрации моментов времени и координат точек возникновения протонов отдачи в водород-содержащем рабочем веществе детекторов нейтронов.
- 10 5. Способ по п. 1, отличающийся тем, что определение моментов времени возникновения, величин энергии и векторов исходного движения нейтронов, образуемых в результате реакции генерации нейтронов в материале мишени, осуществляют путем измерения моментов времени и координат точек взаимодействия
- 15 заряженных частиц отдачи с позиционно-чувствительными детекторами заряженных частиц в двух последовательных точках траектории движения заряженных частиц отдачи.

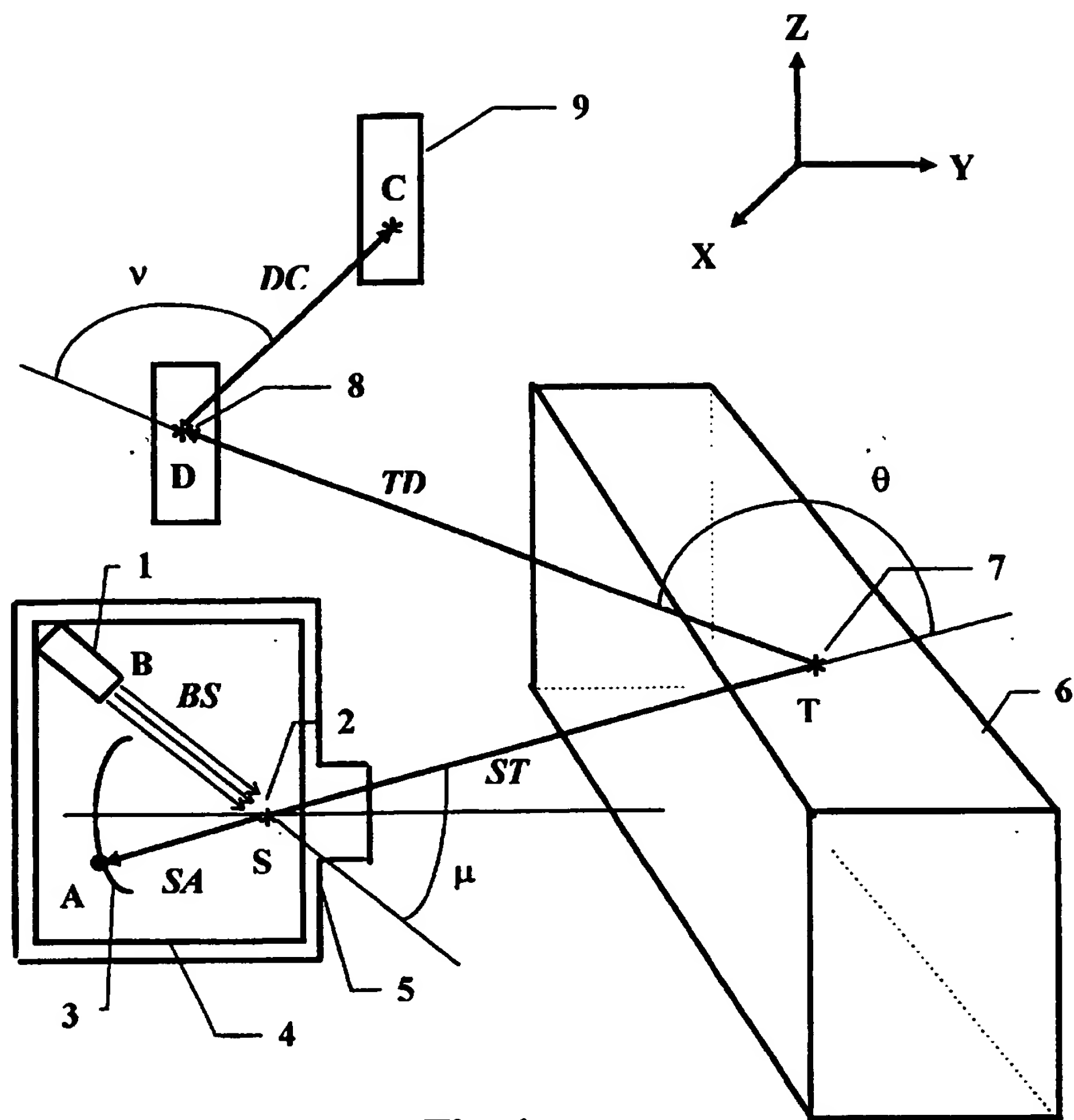


Fig. 1

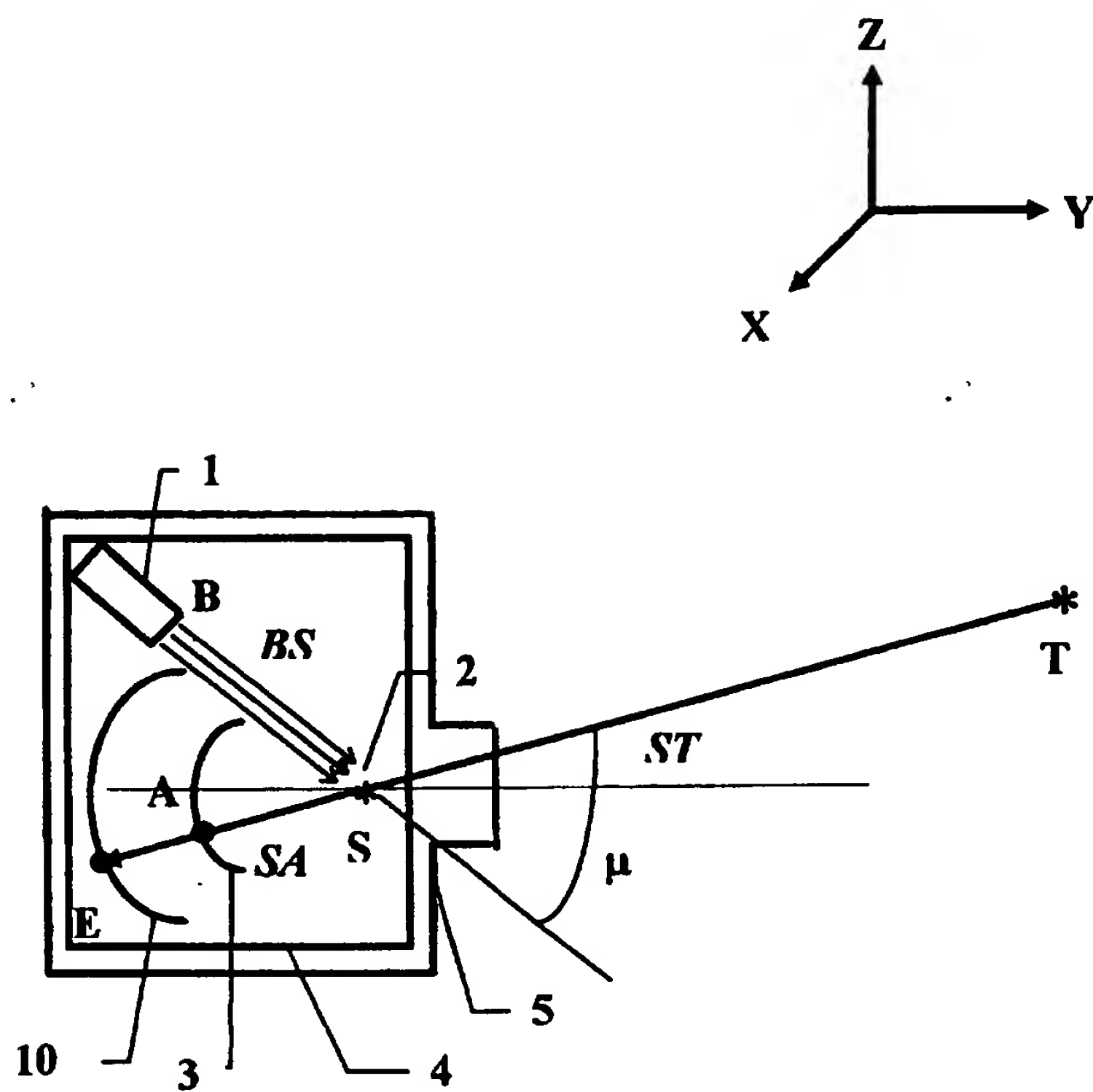


Fig. 2

3/3

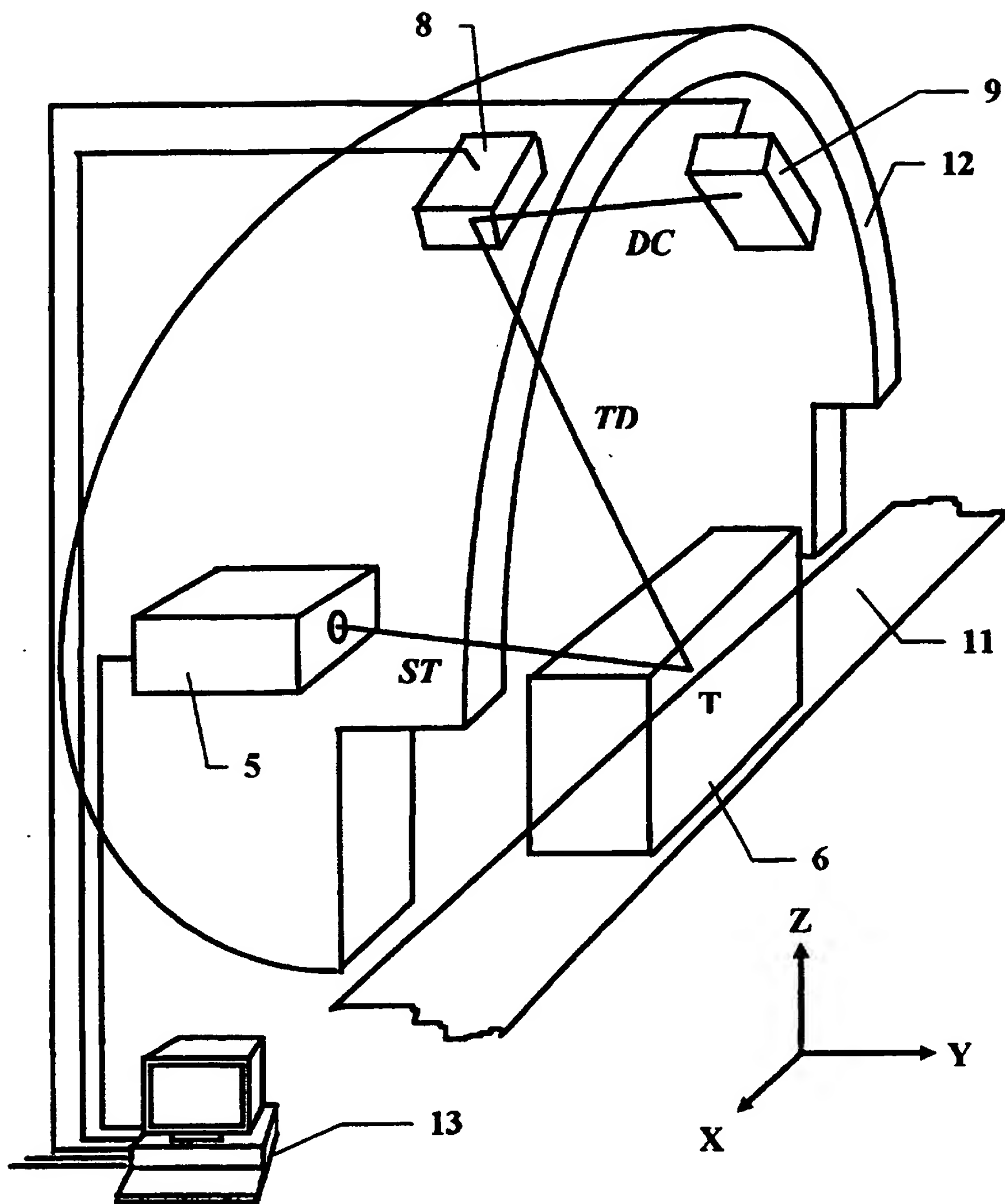


Fig. 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/RU 96/00315

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC⁶ G01N23/00, 23/204

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC⁶ G01N 23/00-23/222

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	SU, A1, 1349478 (OBIEDINENNY INSTITUT YADERNYKH ISSLEDOVANY), 15 November 1985 (15.11.85)	1
A	SU, A1, 1655200 (OBIEDINENNY INSTITUT YADERNYKH ISSLEDOVANY), 30 May 1994 (30.05.94)	1-5
A	GB, A, 2221599 (GENERAL ATOMICS), 7 February 1990 (07.02.90)	1-5
A	WO, A1, 89/06357 (PENETRON, INC), 13 July 1989 (13.07.89)	1-5

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

14 February 1997 (14.02.97)

Date of mailing of the international search report

13 March 1997 (13.03.97)

Name and mailing address of the ISA/

RU

Facsimile No.

Authorized officer

Telephone No.

ТЧЕТ О МЕЖДУНАРОДНОМ ПОИСКЕ

Международная заявка №
PCT/RU 96/00315

А. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРЕДМЕТА ИЗОБРЕТЕНИЯ:

G01N23/00, 23/204

Согласно международной патентной классификации (МПК-6)

В. ОБЛАСТИ ПОИСКА:

Проверенный минимум документации (система классификации и индексы) МПК-6:

G01N 23/00-23/222

Другая проверенная документация в той мере, в какой она включена в поисковые подборки:

Электронная база данных, использовавшаяся при поиске (название базы и, если возможно, поисковые термины):

С. ДОКУМЕНТЫ, СЧИТАЮЩИЕСЯ РЕЛЕВАНТНЫМИ

Категория	Ссылки на документы с указанием, где это возможно, релевантных частей	Относится к пункту №
A	SU, A1, 1349478 (ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ), 15 ноября 1985(15.11.85)	1
A	SU, A1, 1655200 (ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ), 30 мая 1994(30.05.94)	1-5
A	GB, A, 2221599 (GENERAL ATOMICS), 07 февраля 1990(07.02.90)	1-5
A	WO, A1, 89/06357 (PENETRON, INC), 13 июля 1989(13.07.89)	1-5

☐ последующие документы указаны в продолжении графы С.

☐ данные о патентах-аналогах указаны в приложении

* Особые категории ссылочных документов:

"А" документ, определяющий общий уровень техники

"Е" более ранний документ, но опубликованный на дату международной подачи или после нее

"О" документ, относящийся к устному раскрытию, экспонированию и т.д.

"Р" документ, опубликованный до даты международной подачи, но после даты испрашиваемого приоритета

"Т" более поздний документ, опубликованный после даты

приоритета и приведенный для понимания изобретения

"Х" документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска, порочащий новизну и изобретательский уровень

"У" документ, порочащий изобретательский уровень в сочетании с одним или несколькими документами той же категории

"&" документ, являющийся патентом-аналогом

Дата действительного завершения международного поиска

14 февраля 1997 (14.02.97)

Дата отправки настоящего отчета о международном

поиске 13 марта 1997 (13.03.97)

Наименование и адрес Международного поискового органа:
Всероссийский научно-исследовательский институт
институт государственной патентной экспертизы,
Россия, 121858, Москва, Бережковская наб., 30-1
Факс: 243-3337, телетайп: 114818 ПОДАЧА

Уполномоченное лицо:

А.Друщиц

Телефон №: (095)240-5888

Форма PCT/ISA/210 (второй лист) (июль 1992)